

平滑な金属薄板の冷間圧延に関する研究

著者	吉織 忠継
号	64
発行年	1968
URL	http://hdl.handle.net/10097/11013

氏 名 (本 籍)	吉 識 忠 継 (兵 庫 県)
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 第 6 4 号
学位 授与 年月日	昭和 4 3 年 1 1 月 6 日
学位 授与 の 要件	学位規則第 5 条第 2 項該当
最 終 学 歴	昭和 2 9 年 3 月 姫路工業大学機械工学科卒業
学 位 論 文 題 目	平滑な金属薄板の冷間圧延に関する研究

(主 査)

論文 審査 委員	教授 田 中 英 八 郎	教授 横 堀 武 夫
	教授 竹 山 寿 夫	教授 戸 部 俊 美
	教授 玉 井 康 勝	教授 島 田 平 八

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 言

冷間圧延した金属薄板は，ほとんど全て使用前に剪断，曲げ，深絞りなどの 2 次成型加工や表面研磨，メッキ，化成処理などの表面処理加工を行なっている。

最近，成型加工用プレス機械の自動化，高速化により圧延した薄板は，長さ方向の板厚公差，板の平坦さ，断面形状，板巾の変化などの寸法的な要求が非常に厳格になつて来ている。(1) また，薄板の表面処理加工や製品的美観に関しては，表面欠陥がなく，光沢の良い表面の平滑な薄板が要求されている。

これらの内，長さ方向の板厚公差に対してはHessenberg, Sims⁽²⁾の研究を始めとして多

く行われており⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾，板厚変動の自動制御方式も体系化され，工業化されて来ている。しかし，薄板の平坦さ，および表面の平滑度に関しては定量的表示法も少ない⁽⁶⁾ことも原因して系統的な研究がほとんど見当たらない。

本研究は圧延条件による平坦さの変化の観察が容易である観点から，センチミ-ヤ20段可逆冷間圧延機を使用して，ロール形状と弾性変形との関連，圧延時の前方張力・ロール表面の平滑度の劣化に関連した超硬ロールによる薄板の圧延，表面欠陥の微細模様，薄板表面における圧延潤滑油の挙動や効果などに関して実験的，理論的に研究し，平坦かつ表面の平滑な薄板の圧延条件を確立することを目的としたものである。

第2章 センチミ-ヤ20段可逆冷間圧延機の圧下力の測定法

圧下力は平坦な薄板の圧延条件およびロール弾性変形の解析上に必要な量である。センチミ-ヤ20段圧延機は油圧圧下機構を持ち，ハウジング内では偏心リングによりロール圧下を行なっているが，油圧が何tonの圧下力に対応するかを解析した研究はない。

油圧ラムの仕事量と仕事ロールの圧下の仕事量を等価とすると圧下力Pは次式で求めることができる。

$$P = P \cdot A \cdot \frac{Rr}{S}$$

ここで P : シリンダー内の油圧

Rr : ラックの上昇量

A : シリンダー面積

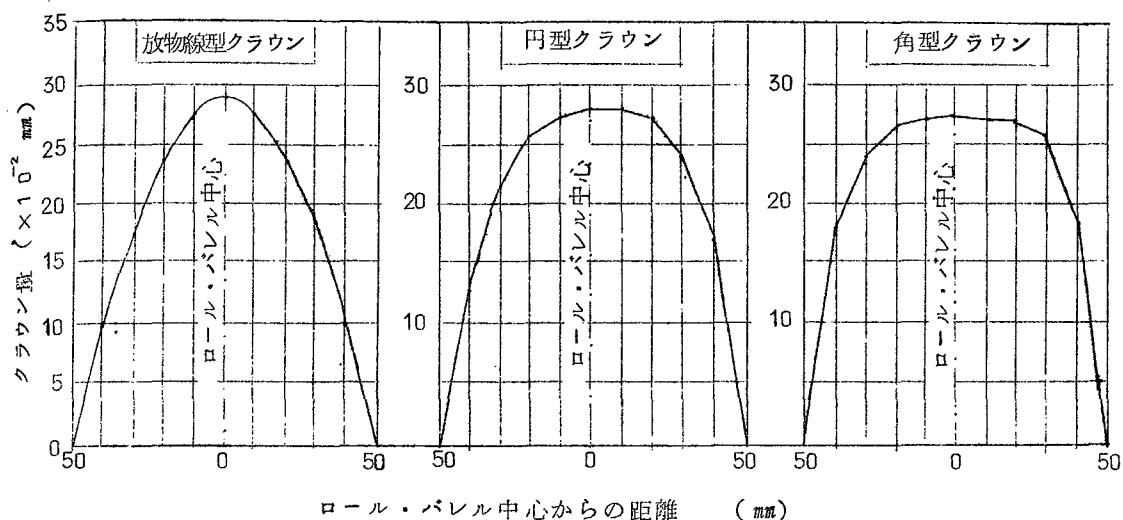
S : 仕事ロールの圧下量

Rr/S は圧力倍率であり，これをハウジング内のロール圧下の幾何学的解析と圧下前のロール間隙を既知にして上，下仕事ロール接触時のラックの目盛り測定とから求めたが，両者は良く一致し $Rr/S = 2.4.9$ を得た。

圧下力に対応する油圧を検討し，上下シリンダー差圧と真の圧下力との関係を求めると同時に，他の多段圧延機にも普遍的に応用できる圧下力測定法を確立した。

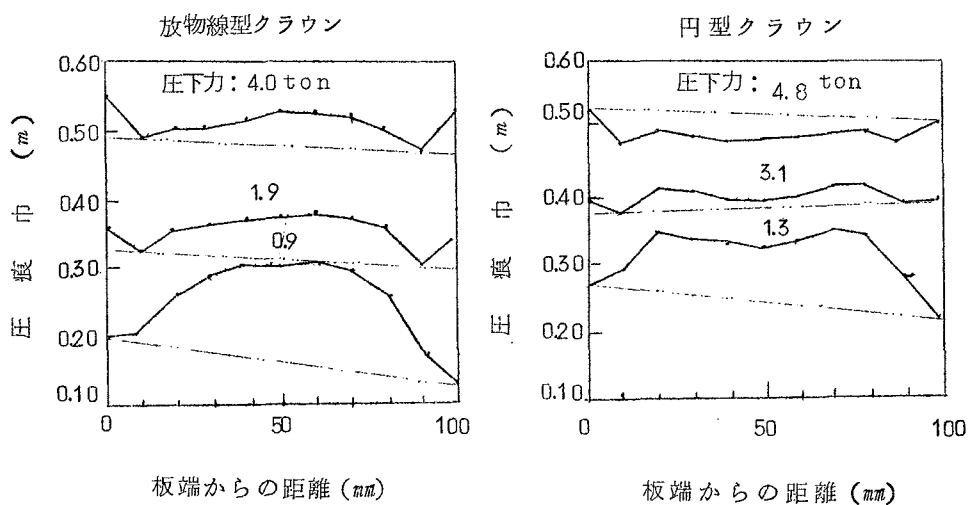
第3章 適正な仕事ロール・クラウンの形状の解析

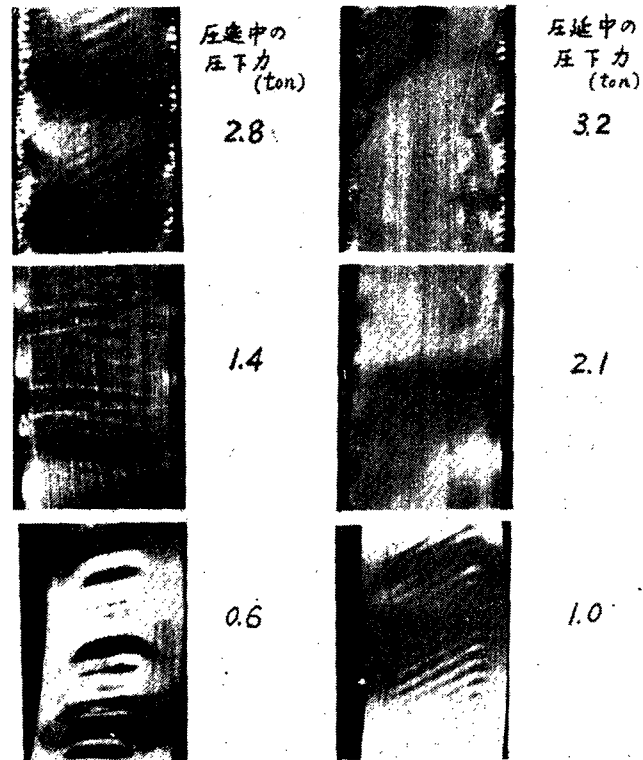
2段，あるいは4段圧延機においては，圧延板の平坦さに関してのロール形状，並びにロール弾性変形を解析した研究は多いが⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾，多段圧延機における仕事ロール・クラウンを求めたものはない。



第1図 実験に使用した仕事ロール・クラウンの形状

本章では、第1図に示すクラウンを持つ仕事ロールを用いて静的圧下を行ない、薄板に刻印されたロール圧痕の中の板巾方向分布（圧痕巾分布）を測定し、同一圧下条件で圧延した薄板の平坦さとの対応性を求めた。



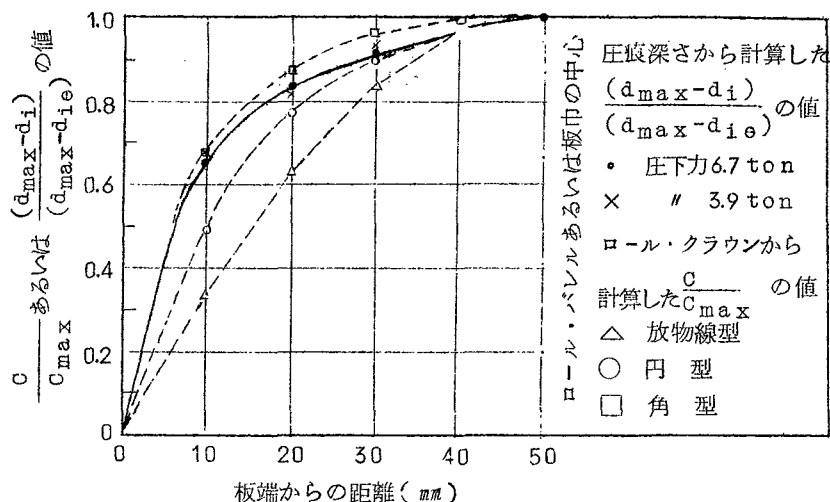


第2図 静的圧下による圧痕巾分布と圧延した薄板の平坦さとの関連

第2図はその結果で、ロール支持機構の複雑な多段圧延機においても圧痕巾分布と圧延した薄板の平坦さとは良い対応性を示すことが確認できた。同時に円型クラウンの方が放物線型クラウンよりも平坦な薄板が圧延できることが明白となった。すなわち、放物線型では中間の圧下力において中延びと端延びが共存し、平坦な薄板あるいは平行な圧痕の得られる圧下力は存在しない。

更に、静的圧下時における仕事ロール彎曲を実測し仕事ロールが板側に彎曲する傾向を認め、また圧痕断面形状の精密測定よりロール・バレル方向のロール扁平変形(R'/R)は変化しないことを確認した。

以上の実験結果に基づいて、フラット・ロールで静的圧下を行なったときの圧痕巾分布および板巾方向の圧痕深さ分布を解析した。



第3図 板巾方向の圧痕深さ分布とロール・クラウンの形状との比較

第3図の実線は深さ分布であり、これが平坦な薄板の圧延できる最適正な仕事ロール・クラウンの形状であり、この形状は2段圧延機で適正とされていた放物線型⁽⁸⁾ではなく、角型あるいは円型に近似している。また、この形状はセンデミーヤ20段圧延機に限らず4段を含む多段圧延機には一般的に適正な形状であると考察できる。

第4章 第1中間ロールの形状と平坦な薄板の圧延条件との関連

上で求めた最適正の仕事ロール・クラウン（第3図の実線）は形状が複雑であるため、研削時に精度が得られ難いという不利が伴う。仕事ロールとしてはフラット・ロールを用い第1中間ロールにテーパ・ロールを使用する方がロール研削精度、能率の観点からは有利である。

しかし、従来、第1中間ロールの形状は経験的に決められており、如何なる現象を基にして設計するかを調べた研究はない。

ここでは、第1中間ロールの形状と平坦な薄板の得られる圧下力との関係を実験的に調べ、更に接触変形によるロール中心の相対接近量を解析して、第1中間ロールの形状の設計基準を確立した。

仕事ロールとしてはフラット・ロールを採用し、平行部長さとテーパ量の種々異なる第1中間ロールを用いて圧延を行ない、圧下力を変化して端延びの現われ始める圧下力を比較的平坦な薄板の圧延できる圧下力 (P_F) と定義して P_F を実験的に求めた。

平行部長さ	テーパーの量	1パス圧下率	圧下力
in	in/in	%	ton
3	0.002	21.5	2.0
	0.004	43.1	3.4
	0.006	45.0*	4.7
3 1/4	0.002	13.2	1.2
	0.004	30.6	1.7
	0.006	41.0	2.7
3 1/2	0.002	9.7	0.73
	0.004	11.1	1.2
	0.006	13.2	1.6
3 3/4	0.002	6.3	0.73
	0.004	8.3	1.2
	0.006	9.4	1.5

* : 端延びは現われず

素材はスキン・パスした軟鋼, 0.144mm×100mm
厚巾

第1表 比較的平坦な薄板の圧延できる圧下力 P_f , 圧下率におよぼすロール形状の影響。

結果は第1表で平行部長さを一定とすればテーパー量が大きくなる程, またテーパー量が同一であれば平行部長さが短い程 P_f , および1パス圧下率が大きくなるが, 薄板の緻密な平坦さから云えば, 平行部長さが長い方がテーパー肩部に対応する異常延びが少なかった。

このように平行部長さが長いものでは平坦さは良好である反面, 第1表から分るように1パス圧下率は大きくとることができない。圧下率を上げて平坦な薄板を得るためにテーパー・ロールの組合わせについて検討を行ない, 1本のテーパー量の大きいロールを使用するよりも, 小さいテーパー量のロールを数本組合せる方が平坦な薄板が得られることが実験的に明白となった。

次に, 第1中間ロール形状の設計規準を求めるために, ハウジング内のロール弾性変形について計算した。

曲げモーメントによるベアリング軸の撓み, 仕事ロールの撓みは5.0 ton の圧下力で数ミクロン以下で極端に小さかった。

圧縮荷重によるロール間の接触変形を次式⁽¹⁰⁾で計算した。ロール中心の相対接近量 δ は

$$\delta = \frac{2(1-r^2)}{\pi E} \cdot \frac{P_c}{b} \left[1.8864 + \log_e \frac{b}{a} \right]$$

ただし P_c : 圧下力の分力の圧縮荷重

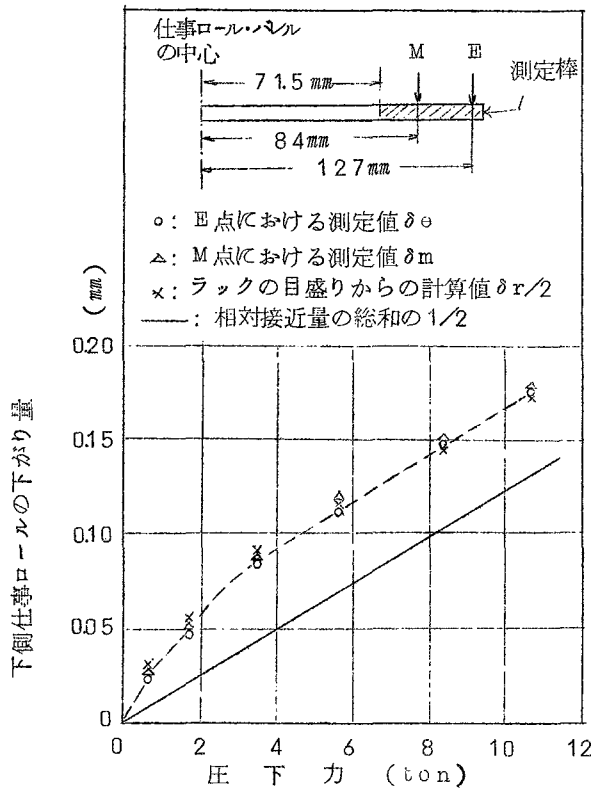
a : 接 触 巾

b : 接触長さ

r : ロールのポアッソン比

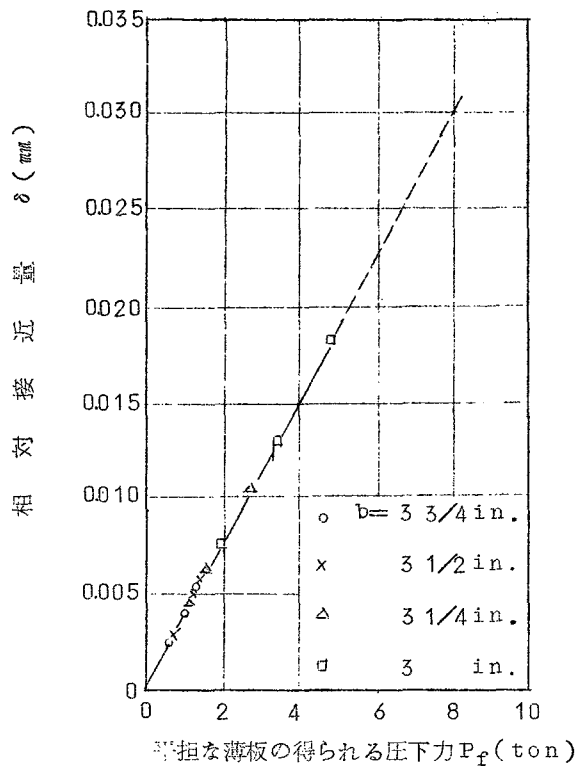
E : ロールのヤング率

である。



第4図 接触変形による相対接近量の総和の測定結果と計算結果の比較

各ロール間の相対接近量を加算した変位量を求め、圧下による仕事ロール降下量を直接測定した結果と比較したのが第4図である。両方の結果は低圧下力ではハウジングやベアリングの工作精度、組立て精度により一致しないが、高圧下力における傾斜はよく一致しており、計算の妥当性が確かめられると共に、ハウジング内の支配的な弾性変形ロール間の接触変形であることが明白となった。



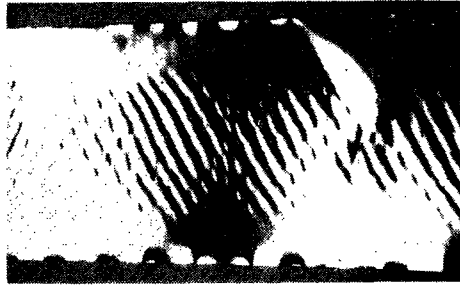
第5図 P_f と δ との関係

この結果に基づいて、テーパー・ロールを用いたときの仕事ロール間の接触変形による δ と接触変形に伴う接触長さ b を計算し、実験的に得た P_f との関連性を求めた結果が第5図である。 δ と P_f はロール形状の如何に拘らず直線関係があり、相対接近量の大小によって P_f が一義的に決まることが判明した。一方、接触変形後の接触長さと P_f は薄板の伸び方を境界とする曲線関係があることを認めた。

以上の事実は、平坦な薄板の圧延条件に関して第1中間ロールの形状を規定する因子は、ロール間の接触変形であることを実証しており、テーパー・ロールの平行部長さやテーパー量は必要の圧下力に対する相対接近量を基にして理論的に設計できることを示している。

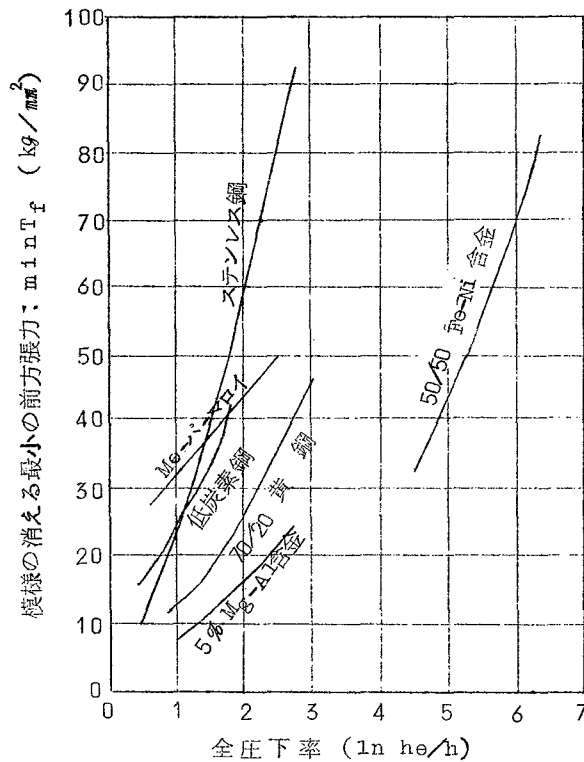
第5章 薄板に現われる交差模様

広巾の薄板に現われる交差模様(第6図)は平坦さを著しく害するが、この模様に対する系統的研究はない。



第6図 薄板に現われた交差模様

この章では模様発生と圧延条件との関係を明らかにして、発生および消去の機構に対して考察を加えた。



第7図 交差模様の消える最小の前方張力 ($\min T_f$) と圧下率との関係

交差模様は圧延時の前方張力を大きくし、ある一定の張力 ($\min T_f$) になると消失する。すなわち、第7図に示す曲線以上の前方張力を圧延時に負荷すると模様の発生が防止できる。しかし、後方張力、1パス圧下率、仕事ロール材質などは模様発生とは本質的に無関係であり、ロール・クラウンの適正なものとは不適正なものに比べ $\min T_f$ が10～30%減少する。

模様の発生は薄板が中延びになる場合、板巾および長さ方向に塑性的に挫屈を起し、挫屈の山

谷が連続して交差した模様となることを推定した。また、薄板の伸び方により前方張力は板巾方向に不均一に分布することを実測した。このことから、消去の機構はロール接触弧における塑性条件が張力の不均一分布により部分的に変化して伸び方の不均一が少なくなるためと考察できた。

また、これらの機構により模様発生と圧延条件との実験結果を良く説明できた。

第6章 表面の平滑な薄板の圧延

超硬ロールによる圧延条件の特徴をロール表面粗さの劣化という観点から検討すると共に、薄板表面の欠陥である微細模様という新しい問題を提起して、その発生原因について推察を試みた。

1. 超硬ロールによる薄板の圧延

CO含有量の異なるWC-CO系の超硬ロールを用いてステンレス鋼、低炭素鋼の薄板を工具鋼ロールと同一圧下条件で圧延し超硬ロールによる圧延条件の特徴を調べた。硬質材料、極薄材料の圧延には超硬ロールを使用するとパス回数を少なくして所定の板厚にでき、ロール扁平変形率 $\dots (L'-L)/L \times 100\%$ は工具鋼ロールの20～30%で圧延時の摩擦係数、比圧延圧力は工具鋼ロールより僅かに高い。

2. 薄板表面の微細模様

模様の発生原因に対しての推論に基づき圧延条件を大巾に変化して検討した。その結果、微細模様の少ない条件は巻取りリールを回転せず張力をかけずに圧延した場合、駆動ロールの本数が少ない場合など圧延機の回転部を少なくして圧延を行なった条件である。更に、回転部のトルクの測定から振動的变化を確かめ、この事から圧延トルクや張力の変動によりロール接触弧における塑性条件が時々刻々変化して微細模様が発生するものと推察できる。

第7章 圧延潤滑油の薄板表面における挙動

薄板の表面平滑度に対する圧延時の摩擦係数、潤滑剤の粘度の影響を調べるために、多種の潤滑剤についての圧延時の摩擦係数を求めると共に、表面光沢のよい素材に潤滑剤を塗布して圧延した板表面を微視的に観察した。

摩擦係数は境界潤滑性能の優れている動、植物油が低く、鉱物油は一般的に高いが、潤滑油の粘度による差異は認められなかった。

圧延板表面には潤滑剤により異なるが、深さが2～20μ程度の凹凸が認められ、凹部は顕微鏡下では黒く、圧延方向に直角に並ぶ規則性を持ち、圧延時に厚い潤滑膜によってロールと隔てられて、金属が変形したと考えられる痕跡が観察できた。一方、凸部は金属光沢を持って輝いており、顕微鏡下で凹部（黒色部）の比率が大きいものが、肉眼的には表面光沢がなく曇った板である。

圧延時の摩擦係数と凹部の比率との間には，一般的に摩擦係数が低いものほど比率が大きいという関係にあるが，比率が大きい潤滑剤は摩擦係数が低いことは一義的に成立しない。凹部の比率はロール啮込みにおける潤滑剤の捕捉，流動と関連する潤滑剤の粘度またはレオロジー的性質に依存すると考えられる。

第 8 章 総 括

従来，系統的な研究がほとんどなされていない金属薄板の平坦さ，および表面の平滑度の問題に関して実験的，理論的な解析を行なった。

静的圧下による圧痕形状の解析という独創的手法で適正な仕事ロール・クラウンを決定し，接触変形の解析から第 1 中間ロール形状の設計規準を確立し，薄板の平坦さの矯正と前方張力分布との関連を説明すると共に，超硬ロールによる薄板の圧延条件，表面欠陥である微細模様の発生原因，薄板の表面平滑度に対する潤滑剤の作用などを究明し，平坦，かつ表面平滑な薄板の圧延条件を確立した。

謝 辞

この研究は東北大学金属材料研究所において行なったものであり，終始御指導を賜った東北大学 田中英八郎教授，並びに貴重な御助言を頂いた東北大学 島田平八教授，横堀武夫教授，竹山寿夫教授，戸部俊美教授，玉井康勝教授に深甚の謝意を表する。

また，研究に御協力下さった東北大学金属材料研究所 福田武司氏，同所工業化第一研究室および田中研究室の諸氏に厚く感謝の意を表する。

参 考 文 献

1. T.G.Woodward : Sheet Metal Ind. 32(1964~65)169
2. W.C.F Hesseberg, R.B.Sims : Proc.IME 166(1952)75
3. I.G.Qrellana : Iron Steel Eng. 39-11(1962)71
4. N.D.Stephens, A.B.Bisci : Iron Steel Eng. 38-2(1961)93
5. 久能博か : 塑性と加工 5-40(1964)331
6. W.K.J.Pearson : J.Inst.Metals 93(1964-65)169
7. O.Emicke : Stahl u.Eisen 58(1938)73
8. E.C.Larke : "The Rolling of strip and Plate" Chapman Hall Ltd. (1957)
9. F.Lindenmann : Stahl u.Eisen 81(1961)1350
10. 戸部 : 機械の研究 8(1956)269

審 査 結 果 の 要 旨

冷間圧延金属薄板は、ほとんどすべて使用前に成形加工や表面処理を行わなければならない。これら2次加工に関連して、最近薄板の長さ方向の板厚公差、平坦さ、表面性状などの問題が重要となってきた。

これらの内、長さ方向の板厚公差についての研究は多いが薄板の平坦さ、および表面の平滑さに関する系統的な研究はほとんど見あたらない。

本論文は、ロールの形状と弾性変形との関連、圧延時の前方張力、ロール表面の平滑さ、表面欠陥の一つである微細模様、薄板表面における圧延潤滑剤の挙動や効果などに関する実験的、理論的研究により、平坦かつ表面平滑な金属薄板の圧延条件を確立したものであり、8章よりなる。

第1章は緒論であり、研究の目的、および20段冷間圧延機を用いることが本研究遂行に有効な手段とされるにいたった経過を述べている。

第2章では従来、測定例のなかった本圧延機の圧下力の普遍的な測定法を確立している。これによって、平坦な薄板の圧延条件の決定、ならびにロールの弾性変形を解析することを可能にした。

第3章では薄板の平坦さを規定する主要因子である仕事ロールの形状を独創的な手法により検討し、最も適正なロールクラウンの形状を理論的に推定し、かつこれを実験的に証明している。

第4章では第1中間ロールの形状と平坦な薄板の得られる圧下力との関係を実験的にしらべ、さらに接触変形によるロールの相対接近量を解析して、従来経験的にきめられていた第1中間ロールの形状の設計基準を確立している。

第5章では薄板の平坦さを著しく害する交叉模様の発生と圧延条件との関係を明らかにし、発生および消去機構の考察を行ない、前方張力の不均一分布を実証した。この結果は、平坦な薄板圧延に関して工業的にも応用出来るものである。

第6章では超硬ロールによる圧延条件の特徴をロール表面あらさの劣化という観点から検討すると共に、薄板表面の欠陥である微細模様という新しい問題を提起し、その発生原因を推定している。

第7章では圧延板表面の微視的観察に基づいて、表面平滑さと圧延時の摩擦係数、潤滑剤の粘度あるいはレオロジー的性質との関連を考察している。

第8章は総括である。

以上要するに、本論文は従来、系統的な研究のなされていない金属薄板の平坦さ、および表面平滑さの問題に関し、適正ロール形状、圧延時の前方張力分布などの実験的、理論的解明を行なうことによって、平坦かつ表面の平滑な薄板の圧延条件を確立したものであり、工業的規模においても十分に応用可能な重要な知見を与えており、金属工学に寄与するところが少なくない。

よって本論文は、工学博士の学位論文として合格と認める。